CANMET

Canada Centre for Mineral and Energy Technology

Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie

RAPPORT 84-11F

PLOMB 210 DANS DES MINERAIS D'URANIUM DE RÉFÉRENCE CERTIFIÉS DL-1a, BL-4a, DH-1a ET BL-5

C.W. SMITH ET H.F. STEGER

MICROMEDIA
OCT 1 1 1985

29pp

PROGRAMME DE RECHERCHE SUR LES MINÉRAUX
LABORATOIRES DES SCIENCES MINÉRALES

DÉCEMBRE 1984

Energy, Mines and Resources Canada
Énergie, Mines et Ressources Canada

Canada

85-5887/

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1985

En vente au Canada par l'entremise de nos

agents libraires agréés
et autres librairies

ou par la poste au:

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa, Canada, K1A 0S9

N° de catalogue M38-13/84-11F
ISBN 0-660-91589-8

Canada: 3,25$
à l'étranger: 3,90$

Prix sujet à changement sans préavis
Available in English

PLOMB 210 DANS LES MINERAIS D'URANIUM DE RÉFÉRENCE CERTIFIÉS DL-1a, BL-4a, DH-1a ET BL-5

par
C.W. SMITH* et H.F. STEGER*

RÉSUMÉ

La radioactivité du plomb 210 des minerais d'uranium de référence BL-4a et BL-5, ainsi que des minerais d'uranium et de thorium de référence DL-1a et DH-1a a été mesurée dans le cadre d'un programme interlaboratoires. Dix des onze laboratoires participants ont utilisé des solutions de ^{210}Pb certifiées par la Amersham Corporation comme étalons pour les mesures par spectrométrie de rayonnement gamma, comptage des particules béta pour le ^{210}Bi, ou spectrométrie alpha du ^{210}Po, après la séparation radiochimique. Aucun biais méthodologique significatif n'a été décelé. Les valeurs proposées pour l'activité de ^{210}Pb et pour les paramètres associés ont été déterminées par traitement statistique des résultats.

Les valeurs proposées pour l'activité du ^{210}Pb sont respectivement de 1,40, 15,5, 30,8 et 866 Bq g^{-1} pour DL-1a, BL-4a, DH-1a et BL-5. Ces valeurs sont conformes à l'équilibre séculaire dans la série radioactive du ^{238}U pour chaque matériau.

---

*Chercheurs scientifiques, Laboratoires des sciences minérales, CANMET, Énergie, Mines et Ressources, Canada, Ottawa, K1A 0G1

LEAD-210 IN CERTIFIED REFERENCE URANIUM ORES DL-1a, BL-4a, DH-1a AND BL-5

by
C.W. SMITH* AND H.F. STEGER*

SYNOPSIS

Lead-210 radioactivity in uranium reference ores BL-4a and Bl-5 and uranium-thorium reference ores DL-1a and DH-1a was determined by an inter-laboratory program. Ten of eleven participating laboratories employed Amersham Corporation certified ^{210}Pb solutions for calibration for measurements by gamma-ray spectrometry, beta-counting of ^{210}Bi or alpha spectrometry of ^{210}Po following radiochemical separations. No significant methodological bias was detected. Recommended values for ^{210}Pb activities and associated parameters were determined by statistical treatment of the results.

The recommended values for the activity of ^{210}Pb are 1.40, 15.5, 30.8, and 866 Bq g^{-1} for DL-1a, BL-4a, DH-1a and BL-5, respectively. These values are consistent with secular equilibrium in the ^{238}U decay series in each material.

---

*Research Scientists, Mineral Sciences Laboratories, CANMET, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, K1A 0G1

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ	i
SYNOPSIS	ii
INTRODUCTION	1
PROGRAMMES INTERLABORATOIRES	2
DÉTERMINATION DES VALEURS PROPOSÉES ET ESTIMATION DES INCERTITUDES	3
ANALYSE DES RÉSULTATS	8
États d'équilibre séculaire	8
Précision des mesures	8
Compatibilité	8
REMERCIEMENTS	ii
RÉFÉRENCES	11
APPENDICE A - LABORATOIRES PARTICIPANTS	14
- RAPPORTS DES LABORATOIRES CONTRACTANTS	15
- RÉSUMÉ DES MÉTHODES RADIOCHIMIQUES	16
- RÉSUMÉ DES MÉTHODES UTILISANT LE RAYONNEMENT GAMMA	17
- RÉFÉRENCES POUR LES MÉTHODES	18
- MATÉRIAUX DE RÉFÉRENCES CERTIFIÉS POUR ÉTALONNAGE, FOURNIS PAR LE PCMRC	19
Matériaux-source	19
Description de la dilution	19
Calcul de l'activité	19
Milieu	19
APPENDICE B - TAUX D'ÉMANATION DE RADON PAR DES MINERAIS DE RÉFÉRENCE EN POUDRE DU PCMRC	22
- VALEURS D'ACTIVITÉ OBTENUES PAR UN LABORATOIRE UNIQUE POUR DES ISOTOPES DES SÉRIES DE DÉSINTÉGRATION DE ^{238}U ET ^{232}Th NON CERTIFIÉS	23

TABLEAUX

N°		Page
1.	Valeurs proposées et paramètres statistiques pour ^{210}Pb, Bq g^{-1}	3
2.	Résultats, moyennes de groupe, et écarts-types pour ^{210}Pb dans DL-1a	4
3.	Résultats, moyennes de groupe, et écarts-types pour ^{210}Pb dans BL-4a	5
4.	Résultats, moyennes de groupe, et écarts-types pour ^{210}Pb dans DH-1a	6
5.	Résultats, moyennes de groupe, et écarts-types pour ^{210}Pb dans BL-5	7

TABLE DES MATIÈRES (suite)

N°		Page
6.	Activités des isotopes de la série ^{238}U, certifiées par consensus interlaboratoires, en Bq g^{-1}	9
7.	Comparaison des activités moyennes pour le ^{210}Pb et la méthode	9
A1.	Rapports des laboratoires contractants	15
A2.	Résumé des méthodes radiochimiques	16
A3.	Résumé des méthodes utilisant le rayonnement gamma	17
B1.	Taux d'émanation de ^{222}Rn par des minerais de référence en poudre du PCMRC	22
B2.	Valeurs d'activité obtenues par un laboratoire unique pour des isotopes des séries de désintégration de ^{238}U et ^{232}Th non certifiés	23

FIGURES

N°		
1.	Distribution des moyennes de groupe pour l'activité du ^{210}Pb de part et d'autre de la moyenne des moyennes de groupe (valeurs proposées)	10

INTRODUCTION

Le plomb 210, produit de désintégration du ^{238}U, est présent dans les résidus provenant du traitement des minerais d'uranium, où il représente une menace pour l'environnement. Il est donc très important de le mesurer avec exactitude et précision, et il serait préférable de le faire à l'aide de produits de référence de composition semblable.

Les minerais d'uranium de référence BL-4a et BL-5, ainsi que ceux d'uranium-thorium DL-1a et DH-1a du PCMRC ont été certifiés antérieurement dans le cadre de programmes interlaboratoires de type consensuel, pour la teneur en uranium (1-4) et l'activité de ^{226}Ra (5). L'équilibre séculaire entre ^{238}U et ^{226}Ra est donné pour les quatre matériaux dans les limites d'incertitude estimatives des mesures. En raison de la demi-vie relativement courte du ^{210}Pb et des isotopes apparaissant dans la série de désintégration du ^{226}Ra, l'équilibre séculaire $^{226}Ra/^{210}Pb$ devrait être atteint à moins d'un lessivage récent de plomb à partir du minerai in situ, de pertes de plomb pendant le broyage, ou encore d'émanations importantes de ^{222}Rn, produit de désintégration intermédiaire gazeux, à partir du corps du minerai avant broyage. Il fut donc décidé qu'il serait plus sage de déterminer l'activité du plomb 210 par mesure plutôt qu'à partir de valeurs fondées sur des hypothèses d'équilibre séculaire.

Conformément à des pratiques antérieures, l'activité du plomb 210 fut déterminée dans le cadre d'un programme de mesures interlaboratoires. En plus de conduire à des résultats où le risque de biais laboratoire-méthode est minimisé, cette façon de procéder permet d'obtenir de l'information sur le degré de consensus entre les laboratoires participants, et par déduction, entre les méthodes actuellement utilisées pour le plomb 210 en général.

PROGRAMME INTERLABORATOIRES

Onze laboratoires indépendants ont contribué à l'obtention des résultats de radioactivité du ^{210}Pb, pour chacun des minerais DL-1a, BL-4a, DH-1a et B1-5. Trois laboratoires ont obtenu leurs résultats par deux méthodes indépendantes; ceux-ci furent traités comme des groupes statistiques indépendants. Six laboratoires ont mesuré le plomb 210 par comptage des particules béta du bismuth 210, après séparation radiochimique de son parent, le plomb 210, et correction pour la désintégration. Deux laboratoires ont déterminé la quantité de plomb 210 par mesure de son descendant, le polonium 210, grâce à la spectrométrie alpha, après séparation radiochimique. Six laboratoires ont quantifié le plomb 210 par mesure directe de l'intensité émise des photons de 46,5 keV, à l'aide de la spectrométrie des rayonnements gamma haute résolution et diverses techniques servant à compenser les effets d'autoabsorption dans l'échantillon (pour simplifier, les trois méthodes générales sont désignées respectivement par les lettres béta, alpha et gamma dans les tableaux).

Chaque participant reçut une ou plusieurs bouteilles de chaque matériau, prélevé au hasard dans les stocks, avec comme tâche d'analyser quatre échantillons indépendants, d'une masse minimale de 1 g chacun. Les étalonnages furent effectués à l'aide du RBZ.44, solution de référence certifiée pour ^{210}Pb et ^{210}Bi, commercialisée par Amersham International Ltd., de façon à minimiser le risque de biais dû à l'étalonnage, et à obtenir des résultats compatibles avec le matériau de référence certifié (MRC), reconnu pour le ^{210}Pb. Sur demande, le PCMRC a fourni des solutions diluées de RBZ.44 aux participants (appendice A). On demanda aux participants de minimiser les composantes de l'incertitude à un niveau pratique compatible avec l'utilisation des résultats pour le projet de certification, et d'atteindre une précision de propagation 1σ pour chaque valeur obtenue, selon les estimations de l'étalonnage et des statistiques de comptage et la précision des mesures pour la récupération (à l'exclusion de l'incertitude MRC). Les valeurs de demi-vie, actuellement acceptées, de 22,3 ± 0,2 y, 5,01 ± 0,01 d et 138,38 ± 0,01 d, seraient les facteurs de correction pour la désintégration, respectivement pour ^{210}Pb, ^{210}Bi et ^{210}Po (6,7).

DÉTERMINATION DES VALEURS PROPOSÉES ET ESTIMATION DES INCERTITUDES

La valeur proposée (consensuelle) pour l'activité de ^{210}Pb est définie comme la moyenne des valeurs moyennes du groupe, les moyennes aberrantes, physiques ou statistiques du groupe étant exclues. Les aberrances physiques ont été définies comme les moyennes du groupe s'écartant de façon excessive de la moyenne consensuelle, et attribuables à des causes d'origine physique. Les aberrances statistiques ont été déterminées grâce aux tests de Dixon sur les moyennes extrêmes du groupe (8). Le test r de Dixon à un niveau significatif de 5 % (bilatéral) a permis de caractériser les valeurs moyennes du groupe à probabilité suffisamment faible d'appartenir à l'ensemble consensuel hypothétique, pour justifier leur exclusion de la détermination des valeurs consensuelles.

Une analyse simple de variance (Modèle II), avec toutes les valeurs individuelles ayant servi à l'obtention de la moyenne consensuelle, a permis d'évaluer la précision de celle-ci, ainsi que le niveau significatif de la composante inter-groupes (9). L'intervalle de confiance calculé de 95 % est une estimation de la reproductibilité de la valeur consensuelle si le même programme était répété 100 fois.

Le tableau 1 présente les valeurs proposées pour l'activité du ^{210}Pb ainsi que pour les paramètres statistiques connexes. σ_A est l'écart-type moyen intra-groupe.

Les tableaux 2-5 présentent les données analytiques issues du programme consensuel pour le ^{210}Pb. Les participants et l'information relative aux méthodes figurent à l'appendice A.

Tableau 1 - Valeurs proposées et paramètres statistiques pour ^{210}Pb, Bq g^{-1}

Matériau	N^{bre} groupes	n^{bre} valeurs	Moyenne	95% CL Min.	95% CL Max.	σ_A
DL-1a	13	54	1,40	1,38	1,41	0,045
BL-4a	14	58	15,55	15,12	15,97	0,36
DH-1a	14	58	30,75	29,84	31,66	0,87
BL-5	12	50	866	847	889	20

Tableau 2 - Résultats, moyennes de groupe, et écarts-types pour ^{210}Pb dans DL-1a

		^{210}Pb, Bq/g					Moyenne de groupe	É.-T.	1σ (est. lab)
Lab-1a	(β)	1,317	1,278	1,301	1,412	1,408	1,343	0,063	
Lab-2a	(β)	1,38	1,38	1,47	1,44		1,418	0,045	0,061
Lab-3	(β)	1,35	1,34	1,44	1,36		1,372	0,046	0,03
Lab-7	(β)	1,452	1,366	1,418	1,414		1,412	0,035	0,035
Lab-9	(β)	1,43	1,40	1,41	1,42		1,415	0,013	
Lab-11	(β)	1,46	1,39	1,33	1,35		1,385	0,057	0,012
Lab-5	(α)	1,37	1,40	1,42	1,50		1,423	0,053	0,063
Lab-6	(α)	1,470	1,382	1,369	1,453	1,323	1,392	0,048	
		1,369	1,400	1,371					
Lab-1b	(γ)	1,344	1,358	1,402	1,396		1,375	0,028	0,032
Lab-2b	(γ)	1,39	1,36	1,35	1,34		1,357	0,011	0,18
Lab-4	(Ge_γ)**	1,543	1,665	1,650	1,458	1,177***	1,579**	0,097	
	(NaI_γ)*	1,771	1,750	1,789	1,760		1,768*	0,017	
Lab-8	(γ)	1,389	1,322	1,342	1,310		1,341	0,035	0,033
Lab-9b	(γ)	1,44	1,46	1,32	1,42		1,410	0,062	
Lab-10	(γ)						1,512†		0,032

*Groupe d'aberrances physiques; également moyenne de groupe aberrante statistiquement, $r_{22} = 0,62 > r(0,025, 15)$; réf. (8).

**Moyenne de groupe aberrante statistiquement, $r_{22} = 0,70 > r(0,025, 14)$; réf. (8).

***Résultat aberrant à l'intérieur du groupe.

†Résultat de l'addition normale des moindres carrés, avec pondération pour quatre échantillons.

Tableau 3 - Résultats, moyennes de groupe, et écarts-types pour ^{210}Pb dans BL-4a

	^{210}Pb, Bq/g					Moyenne de groupe	É.-T.	1σ (est. lab)
Lab-1a (β)	15,83	14,18	15,06	15,94	14,58	15,119	0,77	
Lab-2a (β)	15,0	14,8	14,8	15,4		15,0	0,28	0,41
Lab-3 (β)	16,1	17,0	16,6	16,2		16,48	0,41	0,4
Lab-7 (β)	15,05	15,06	14,07	15,18		14,84	0,52	0,36
Lab-9a (β)	15,1	15,4	15,1	15,3		15,2	0,15	
Lab-11 (β)	15,17	14,22	14,64	14,37		14,60	0,42	0,12
Lab-5 (α)	16,1	16,5	16,6	16,7		16,48	0,24	0,71
Lab-6 (α)	15,5	16,2	16,9	15,7	16,6	16,14	0,457	
	15,9	16,2	16,1					
Lab-1b (γ)	15,85	15,56	15,62	15,86		15,72	0,16	0,20
Lab-2b (γ)	15,0	15,0	15,7	15,2		15,23	0,33	2,2
Lab-4 (γ)	17,13	16,67	16,45	16,50		16,69	0,31	
(NaIγ)*	17,25	16,77	16,61	16,13		16,69*	0,46	
Lab-8 (γ)	16,70	15,50	16,00	16,12		16,08	0,49	0,42
Lab-9b (γ)	15,4	15,4	15,5	15,0		15,32	0,22	
Lab-10 (γ)						14,85†		0,25

*Déclaré groupe d'aberrances "physiques".

†Résultat de l'addition normale des moindres carrés, avec pondération pour quatre échantillons.

Tableau 4 - Résultats, moyennes de groupe, et écarts-types pour ^{210}Pb dans DH-1a

	^{210}Pb, Bq/g					Moyenne de groupe	É.-T.	1σ (est. lab)
Lab-1a (ß)	29,47	33,79	33,17	32,57	31,37	32,073	1,705	
Lab-2a (ß)	33,3	33,3	33,9	33,6		33,53	0,29	0,97
Lab-3 (ß)	28,1	28,2	29,6	29,0		28,7	0,71	0,7
Lab-7 (ß)	29,94	29,83	27,90	26,59		28,56	1,61	0,7
Lab-9a (ß)	30,0	31,7	30,8	32,0		31,13	0,91	
Lab-11 (ß)	30,4	29,8	29,5	29,0		29,68	0,59	0,19
Lab-5 (α)	30,2	31,4	31,7	31,9		31,28	0,72	1,35
Lab-6 (α)	32,4	30,5	28,9	31,7	32,2	31,31	1,347	
	30,0	32,3	32,5					
Lab-1b (γ)	31,64	31,70	31,98	31,39		31,68	0,24	0,37
Lab-2b (γ)	30,1	28,8	28,1	31,0		29,50	1,30	3,2
Lab-4 (Geγ)	29,17	29,22	27,90	28,38		28,66	0,64	
(NaIγ)*	34,94	35,75	36,22	35,62		35,63*	0,53	
Lab-8 (γ)	30,24	31,20	31,78	31,25		31,12	0,64	0,95
Lab-9b (γ)	31,3	32,3	32,4	30,7		31,68	0,82	
Lab-10 (γ)						31,55†		0,60

*Déclaré groupe d'aberrances "physiques".

†Résultat de l'addition normale des moindres carrés, avec pondération pour quatre échantillons.

Tableau 5 - Résultats, et moyennes de groupe, et écarts-types pour ^{210}Pb dans BL-5

		^{210}Pb, Bq/g					Moyenne de groupe	é.-T.	1σ (est. lab)
Lab-1a	(β)	905	864	851	815	838	854,9	33,2	
Lab-2a	(β)	875	902	869	912		889,5	20,8	25
Lab-3	(β)	860	870	860	870		865	5,8	20
Lab-7	(β)	839	838	816	838		833	11,2	20
Lab-9a	(β)	861	875	861	874		867,5	7,8	
Lab-11	(β)	848	894	812	860		853,5	33,8	3
Lab-6	(α)	939	847	937	923	877	906,1	40,5	
		853	930	943					
Lab-1b	(γ)	851	858	861	871		860,2	8,3	8
Lab-2b	(γ)	923	915	948	929		929	14	130
Lab-4	(Ge_γ)*	1065	1027	1041	1055		1047**	16,5	
	(NaI_γ)*	1121	1100	1100	1137		1115*	17,8	
Lab-8	(γ)	846	820	812	852		832,5	19,7	13,7
Lab-9b	(γ)	868	873	886	869		874	8,3	
Lab-10	(γ)						826,5†		35,3

*Groupe d'aberrances physiques; également, moyenne de groupe aberrante statistiquement, r_{22} = > r(0,025, 14); réf. (8).

**Moyenne de groupe aberrante statistiquement; r_{21} = 0,66 > r(0,025, 13); réf. (8).

†Résultat de l'addition normale des moindres carrés, avec pondération pour quatre échantillons.

ANALYSE DES RÉSULTATS

ÉTAT D'ÉQUILIBRE SÉCULAIRE

Le tableau 6 compare les activités des radionucléides de la série ^{238}U, obtenues par trois programmes consensuels indépendants. À l'intérieur des limites estimatives d'incertitude correspondant au niveau de confiance de 95 %, les rapports de l'activité des radionucléides sont égaux à l'unité, c'est-à-dire qu'il y a équilibre séculaire entre ^{238}U et ses produits de désintégration inférieurs, pour chacun des quatre matériaux de référence du PCMRC. Les rapports d'activité $^{226}Ra/^{210}Pb$ montrent que les émanations de ^{222}Rn à partir de la roche mère utilisée pour ces matériaux, n'étaient pas significatives. Les mesures du taux d'émanations, effectuées sur des matériaux de référence en poudre, révèlent que l'activité du ^{210}Pb devrait graduellement diminuer par rapport à l'activité du ^{226}Ra, au cours d'un nombre d'années correspondant à la demi-vie du ^{210}Pb, à un niveau de 2-8 % inférieur à celui du ^{226}Ra (appendice B).

Les activités mesurées de ^{234}U et ^{230}Th (appendice B) laissent fortement supposer que ces matériaux PCMRC sont des produits inaltérés d'équilibre séculaire en ce qui concerne les radionucléides de désintégration de ^{238}U.

PRÉCISION DES MESURES

Une analyse simple de variance des résultats, selon le "Modèle II" de classification simple (9), montre que la composante intergroupes de la variance est significative; le rapport des variances des moindres carrés intergroupes/intragroupe dépasse les valeurs critiques du test F au niveau de signification de 5 % pour tous les matériaux, excepté DL-1a. La variance intergroupes est donc supérieure à l'incertitude pour la valeur proposée, ce qui donne une égale pondération aux moyennes de groupe non aberrantes.

La figure 1 présente la distribution des moyennes de groupe de part et d'autre des valeurs proposées. Rien ne semble indiquer qu'il y ait un biais régulier au niveau du groupe (laboratoire), ni un biais attribuable à la méthode. Le tableau 7 compare les moyennes selon la méthode; il y a une très bonne concordance entre les méthodes. Les précisions obtenues par le programme du plomb 210 (tableau 1) sont comparables à celles atteintes dans le programme du ^{226}Ra (5). Les écarts-types moyens intralaboratoire (σ_A, %) ne révèlent aucune dépendance significative de l'activité dans tout l'intervalle allant du DL-1a au BL-5. Il existe peut-être un faible effet dû au milieu, qui se traduit par une valeur σ_A, % légèrement plus élevée pour les matériaux d'uranium-thorium.

COMPATIBILITÉ

Les intervalles de confiance à 95 % pour les valeurs proposées d'activité du ^{210}Pb révèlent le degré actuel de consensus réalisable par des analystes expérimentés et des méthodes approuvées, pour ces matériaux. Étant donné que 12 sur 14 des résultats de groupe ont fait l'objet d'un étalonnage direct ou indirect à l'aide de solutions de référence certifiées de ^{210}Pb, à savoir le RBZ.4[illegible] de la Amersham Corp., les valeurs d'activité proposées sont compatibles avec cette source de référence. Il n'a pas été tenu compte dans l'estimation de la précision du tableau 1 de l'incertitude globale attribuable aux solutions d'étalonnage (env. ± 2,4 %) (voir appendice A).

Tableau 6 - Activités des isotopes de la série ^{238}U, certifiées par consensus interlaboratoires, en Bq g^{-1}

Matériau	U,%	^{238}U[1]	^{226}Ra[2]	^{210}Pb[3]
DL-1a	0,0116 ± 0,0003	1,432 ± 0,037	1,40 ± 0,04	1,40 ± 0,03
BL-4a	0,1248 ± 0,0007	15,41 ± 0,09	15,5 ± 0,5	15,55 ± 0,41
DH-1a	0,2629 ± 0,0003	32,46 ± 0,04	31,5 ± 1,1	30,8 ± 0,9
BL-5	7,09 ± 0,03	875 ± 4	857 ± 38	866 ± 20

[1] D'après les valeurs relatives à l'uranium, 0,99274 d'abondance pour ^{238}U, et activité spécifique de 12,437 ± 0,007 kBq g^{-1} ^{238}U.

[2] D'après un consensus interlaboratoires, avec des MRC d'étalonnage NBS pour ^{226}Ra, représentant une incertitude totale <2 % (5).

[3] D'après le présent programme, utilisant des MRC d'étalonnage RBZ.44 de la Amersham, dont l'incertitude totale est inférieure à 2,5 % (6).

Tableau 7 - Comparaison des activités moyennes pour le ^{210}Pb[a] et la méthode

Matériau	$\bar{\bar{x}}_\beta$ ± 95% CI	$\bar{\bar{x}}_\gamma$ ± 95% CI	$\bar{\bar{x}}_\alpha$	Nbre de groupes N_β	N_γ	N_α	É.-T. inter-groupes $S_{b\beta}$	$S_{b\gamma}$
DL-1a	1,391 ± ,031	1,399 ± ,095	1,407	6	5	2	,0298	,0682
BL-4a	15,21 ± ,692	15,65 ± ,696	16,31	6	6	2	,659	,663
DH-1a	30,61 ± 2,08	30,70 ± 1,36	31,30	6	6	2	1,982	1,298
BL-5	860,6 ± 19,6	864,4 ± 51,0	906	6	5	1	18,7	41,0

[a] 95 % CI = $t_{,05,n-1} s_b/\sqrt{n}$, où t est le t de Student et s_b l'écart-type des moyennes de groupe de la moyenne des moyennes de groupe, $\bar{\bar{x}}$.

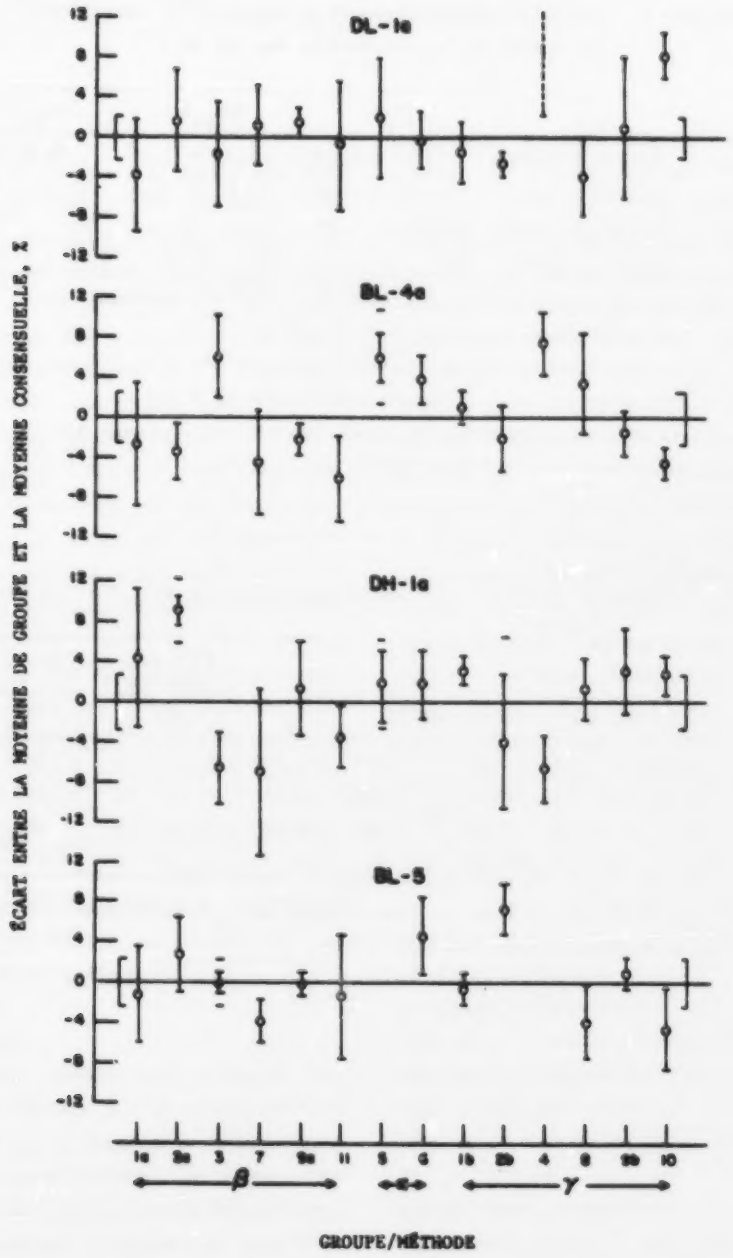

Fig. 1 - Distribution des moyennes de groupe pour l'activité de ^{210}Pb de part et d'autre de la moyenne des moyennes de groupe (valeurs proposées). Les barres verticales représentent les estimations de précision à un intervalle de confiance de 95 % pour les moyennes de groupe obtenues par répétition. Les crochets représentent les intervalles estimatifs de confiance à 95 % des valeurs proposées.

REMERCIEMENTS

Le PCMRC remercie les laboratoires participants, figurant à la liste de l'appendice A du présent rapport, et particulièrement ceux qui y ont collaboré à titre gracieux.

RÉFÉRENCES

1. Steger, H.F. et Bowman, W.S. "DL-1a: a certified uranium-thorium reference ore." CANMET Report 80-10E. CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1980.

2. Steger, H.F.; Bowman, W.S.; Zechanowitsch, G. et Sutarno, R. "BL-2a and BL-4a: certified uranium reference ores." CANMET Report 82-6E. CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1982.

3. Steger, H.F.; Bowman, W.S. et Zechanowitsch, G. "DH-2a: a certified uranium-thorium reference ore." CANMET Report 81-11E. CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1981.

4. Faye, G.H.; Bowman, W.S. et Sutarno, R. "Uranium ore BL-5: a certified reference material." CANMET Report 79-4. CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1979.

5. Smith, C.W. et Steger, H.F. "Radium-226 in certified uranium reference ores DL-1a, BL-4a, DH-1a and BL-5." CANMET Report 83-9E. CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1983.

6. "Certificate of measurement and purity of absolutely standardized radioactive solution." Certificate P18537, Amersham International Ltd., Amersham, U.K.

7. Hoehndorf, A. "Determination of the half-life of lead-210." Z Naturforsch.A 24:612-615; 1969. [Chem. Abstr. 71; 446222; 1969].

8. Lark, P.D.; Craven, B.R. et Bosworth, R.C.L. "The handling of chemical data." Permagon Press. Oxford; 1968.

9. Brownlee, K.A. "Statistical theory and methodology in science and engineering." John Wiley and Sons, Inc.; New York; 1960.

APPENDICE A

LABORATOIRES PARTICIPANTS

Lab. 1 Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie,
Laboratoires des sciences minérales,
Laboratoire de chimie,
Ottawa, Canada.

a. J.L. Dalton et R.H. McCorkell
b. C.W. Smith et Junhao Yang

Lab. 2 Chemex Labs, Ltd.,
North Vancouver (Colombie-Britannique)

a. M. LeGeyt et E. Savoy
b. M. LeGeyt et H. Blok

Lab. 3 Eldorado Resources Limited,
Ottawa (Ontario)

- M.C. Miedema et G.B. Moodie

Lab. 4 Flett Research Ltd.,
Winnipeg (Manitoba)

- R. Flett et D. Campbell

Lab. 5 Institut des eaux douces,
Pêches et Océans Canada,
Winnipeg (Manitoba).

- P. Wilkinson

Lab. 6 Commission géologique du Canada,
Recherches d'exploration, géochimie,
Ottawa (Canada).

- W. Dyck, J.C. Pelchat et
H. Schneeberger

Lab. 7 Monenco Consultants Ltd.,
Monenco Analytical Laboratories,
Calgary (Alberta).

- N. Chiu et J. Dean

Lab. 8 Oak Ridge National Laboratory, Environmental Sciences Division,
Oak Ridge, Tennessee.

- I.L. Larsen

Lab. 9 Saskatchewan Research Council,
Analytical Services Sector,
Saskatoon (Saskatchewan).

- G. Smithson, L. Macdonald et
D. Chorney

Lab. 10 University of Calgary,
Physics Department,
Calgary (Alberta).

- C.J. Bland, P. Overend et J.G. Dufour

Lab. 11 University of Waterloo Research Institute,
Waterloo (Ontario).

- H.D. Sharma et B. Hauck

RAPPORTS DES LABORATOIRES CONTRACTANTS

Tableau A1 - Rapports des laboratoires contractants[1]

Laboratoire	Titre	Contrat[2]	
		N° de la demande	N° de série
Eldorado Resources Ltd.	Analyses radiochimiques de matériaux de référence PCMRC à des fins de certification : mesures de l'activité du plomb 210	26SQ.23440-3-9148-1	OSQ83-00163
Waterloo Research Institute, University of Waterloo	Analyses radiochimiques de matériaux de référence PCMRC à des fins de certification : mesures de l'activité du plomb 210	26SQ.23440-3-9148-2	OSQ83-00164
Chemex Labs Ltd.	Analyses radiochimiques de matériaux de référence PCMRC à des fins de certification : mesures de l'activité du plomb 210	26SQ.23440-3-9148-3	OSQ83-00165
Monenco Consultants Ltd. (Monenco Analytical Labs.)	Analyse du plomb 210 dans des matériaux de référence renfermant de l'uranium, à des fins de certification	26SQ.23440-3-9148-4	OSQ83-00166
Flett Research Ltd.	Analyses radiochimiques de matériaux de référence PCMRC à des fins de certification : mesures de l'activité du plomb 210	26SQ.23440-3-9148-5	OSQ83-00167
Saskatchewan Research Council	Analyses radiochimiques de matériaux de référence PCMRC à des fins de certification : mesures de l'activité du plomb 210	26SQ.23440-3-9148-6	OSQ83-00168
University of Calgary, Physics Department	Analyses radiochimiques de matériaux de référence PCMRC à des fins de certification : mesures de l'activité du plomb 210	26SQ.23440-3-9148-7	OSQ83-00169

[1] Rapports versés aux dossiers du Bureau des programmes de recherches, CANMET, 555, rue Booth, Ottawa (Ontario), Canada, K1A 0G1.

[2] Financement par le Programme de recherche sur les minéraux, Projet des matériaux de référence, CANMET, 380101.

RÉSUMÉ DES MÉTHODES RADIOCHIMIQUES

Tableau A2 - RÉSUMÉ DES MÉTHODES RADIOCHIMIQUES

Groupe	Mes. isot. (méthode)	Échantillon (g)	Décomposition[1]	Séparation[2]	Méthode récupération au traceur[3]	Étalonnage[4] MRC	Références citées
1a	^{210}Bi (ß)	1-2	Digestion acide (a)	Ext. solvant - préc. (b)	Bi (FRX)	RBZ.44	M1, M2
2a	^{210}Bi (ß)	1-2	Digestion acide (a)	Ext. solvant - préc. (a)	Bi (SAA)	RBZ.44	M1
3	^{210}Bi (ß)	1-2	Digestion acide (c)	Ext. solvant - préc. (a)	Bi (SAA)	RBZ.44 (a)*	M1, M3
7	^{210}Bi (ß)	0.5-2	Digestion acide (a)	Ext. solvant - préc. (a)	(a)	RBZ.44 (c)	
9a	^{210}Bi (ß)	1	Digestion acide (c)	Ext. solvant - préc. (a)	Bi (SAA)	RBZ.44 (a)	M1
11	^{210}Bi/^{210}Pb (ß)	1	Digestion acide (b)	Ext. solvant (c)	(b)	RBZ.44 (a)	M4
5	^{210}Po (α)	0.5-3	Digestion acide - fusion (d)	Échange ionique (Pb) Dépôt spont. sur Ag (P_o) (d)	Pb (SAA) ^{209}Po - (étalon int.)	NBS-4953c (b)	M5
6	^{210}Po (α)	1	Digestion acide (a)	Dépôt spont. sur Ni à partir de HCl 0,5 M		RBZ.44	M6, M7

1 a. Digestions répétées aux acides nitrique, fluorhydrique et perchlorique dans des béchers en polyfluoréthylène, suivies d'une évaporation presque à sec.

b. Digestion acide (a) effectuée à 150°C dans une bombe garnie de polyfluoréthylène.

c. Après la digestion aux acides nitrique et perchlorique, le produit insoluble est séparé et traité à l'acide fluorhydrique et à l'acide sulfurique dans des béchers en polyfluoréthylène, évaporé presque à sec, et redissous dans l'acide chlorhydrique. La fraction soluble est évaporée, redissoute dans l'acide chlorhydrique, puis recombinée avec le produit insoluble traité.

d. Digestion acide (a), suivie par un traitement à l'acide sulfurique et une fusion à basse température avec le pyrosulfate de potassium. Le résidu est redissous dans l'acide chlorhydrique pour séparation par échange ionique.

2 a. Le bismuth, y compris le véhicule porteur ajouté, est extrait sélectivement à partir du milieu et dans de l'acide chlorhydrique 2M contenant de l'acide ascorbique, avec du diéthyldithiocarbonate de diéthylammonium (DDTC) 0,1 % (P/V) dans le chloroforme. L'extrait est évaporé, traité à l'acide nitrique, dilué volumétriquement, et une fraction est prélevée pour mesurer la récupération de bismuth. Celui-ci est encore davantage purifié par des précipitations successives sous forme d'hydroxydes, puis d'oxychlorure en présence de véhicule porteur supplémentaire de bismuth (M1).

b. Comme en a, mais tout le bismuth-porteur est ajouté après la décomposition; l'extraction est effectuée à partir d'acide chlorhydrique 4M dans du DDCT 1 %, et l'oxychlorure est redissous après le comptage béta pour les mesures de récupération.

c. Le bismuth et le plomb sont extraits avec le DDTC dans du xylène, à partir d'acide chlorhydrique 1M renfermant de l'acide ascorbique et une faible quantité d'acide diéthylènetriaminepentacétique. L'extrait (env. 6mL) est évaporé dans une coupelle en vue du comptage béta.

d. Le polonium est séparé par passage de la solution de HCl 10M dans une colonne échangeuse d'anion (1x2, Cl^-). La SAA d'une fraction de l'éluat sert à mesurer la récupération de plomb. Après la période mesurée de désintégration du ^{210}Po (>4 mois), on ajoute un étalon traceur/interne de ^{209}Po, et le polonium est déposé sur un disque d'argent (HCl 1,5M) en vue des mesures par spectrométrie du rayonnement alpha.

3 a. Douze fractions de MRC, mêlées aux échantillons, accusaient un "RSD" de 2,4 % pour le facteur d'étalonnage.

b. La récupération pour les fractions de MRC extraites était d'environ 99,9 % par rapport aux fractions évaporées.

c. On suppose la reproductibilité de la récupération (env. 90 %); des fractions de MRC et de silice furent soumises à l'extraction pour l'étalonnage.

4 RBZ.44 est une solution à activité certifiée, MRC de ^{210}Pb/^{210}Bi/^{210}Po, d'Amersham Corp.

a. Désigne une solution diluée volumétriquement de RBZ.44 (50/8/54), fournie par le PCMRC.

b. La solution de ^{209}Po, utilisée comme étalon interne, fut étalonnée avec le MRC de ^{226}Ra, par spectrométrie du rayonnement alpha sur les fractions évaporées.

RÉSUMÉ DES MÉTHODES UTILISANT LE RAYONNEMENT GAMMA

Tableau A3 - RÉSUMÉ DES MÉTHODES UTILISANT LE RAYONNEMENT GAMMA

Groupe	Fractions d'échantillons (g)	Géométrie de la source (diam. x épaisseur, cm x cm)	Détecteur[1]	Étalonnage, mat. de réf. ét.[2]	Méthode d'étalonnage	Correction pour l'absorption[3]	Références citées
1b	1,2-8	5,7 mL, cap. Al, face de mylar (3 x 0.8)	GeHP, plan (1000 mm^2 x 5 mm)	RBZ.44 (a)	Fractions de MRC absorbées sur SiO_2 et des matrices minérales	a	M8, M11
2b	31-65	Minces fioles en plastique de 50 mL, 25 mL (5,1 x 2,5; 5,1 x 1,3)	Ge (Li) coaxial (rendement de 17 %)	RBZ.44	Fractions de solution de MRC	b	M9
4	5	Disque dans du clinquant d'Al pressé (5 x 0.15)	GeHP; 3 x 3" NaI	RBZ.44 (a) pour étalonner la solution de ^{210}Pb	Additions de MR à la source	n.a.	
8	5-112	Boîtes en Al de 90 mL	GeHP, plan (2000 mm^2 x 16 mm)	RBZ.44	Fractions de MRC absorbées sur minéral et matrices chimiques	a	M8
9b	10	Boîtes de Pétri en plastique, 10 cm diam.	GeHP, plan (1000 mm^2 x 10 mm)	Matériaux d'équil. séculaire à base d'uranium	Mesure des matériaux d'équal. séculaire à base d'uranium	c	
10	1-30	Tube de PVC, face de 2 mm (8 x 1)	GeHP (PGT IOC-13)	RBZ.44	Additions d'étalon à la source: fractions de MRC absorbées sur résine IX, mélangée à l'échantillon	n.a.	M10

1. GeHP : cristal de germanium de haute pureté "intrinsèque". Ge(Li) : cristal de germanium dopé au lithium.
2. RBZ.44 est un MRC sous forme de solution de $^{210}Pb/^{210}Bi/^{210}Po$.
   a. Désigne une solution diluée volumétriquement à partir de la solution RBZ.44 n° 50/8/54 fournie par le PCMRC.
3. Correction pour différence source-échantillon et auto-absorption par la source d'étalonnage de photons de 46,5 keV :
   a. Intensités photopiques multipliées par $-\ln(T/T_o)/(1-T/T_o)$, où T et T_o sont les intensités photopiques de 46,5 keV transmises (moins la contribution de l'échantillon) à partir d'une source "ponctuelle" de ^{210}Pb, respectivement à travers l'échantillon et le contenant vide.
   b. Intensités photopiques multipliées par $(\mu'm/[1 - \exp(\mu'm)])$, où $\mu' = \mu t/V$ et μ, t et V sont respectivement le coefficient d'atténuation massique (cm^2/g), l'épaisseur, et le volume de l'échantillon. La valeur de μ pour l'échantillon est une estimation obtenue à partir d'un tableau des sections efficaces pour le photon, et des données de composition publiées.
   c. Facteurs d'auto-atténuation relatifs pour l'échantillon, obtenus à partir des intensités transmises, provenant des sources de ^{133}Ba et de ^{241}Am (81 et 59,5 keV).

RÉFÉRENCES POUR LES MÉTHODES

M1. Smithson, G.L.; Dalton, J.L. et Mason, G.L. "Radiochemical procedures for the determination of selected members of the uranium and thorium series". CANMET Report 78-22. CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1979.

M2. McCorkell, R.H.; Smith, C.W. et Dalton, J.L. "Beta-counting methods for the measurement of lead-210 and their application to CCRMP reference materials". CANMET, Rapport de division MRP/MSL 84-98(J); CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1984. (Présenté à Can. J. Spectroscopy).

M3. Miedema, M.C. et Dunlop, G.A. "Determination of ^{210}Pb by beta-counting of its ^{210}Bi daughter". Eldorado Analytical Procedure Paper ERL ^{210}Pb:1; Eldorado Resources Ltd., Ottawa; 1983.

M4. Veska, E. "Origin and subsurface migration of radionuclides from waste rock at an abandoned uranium mine near Bancroft, Ontario". Ph.D. Thesis, University of Waterloo, Waterloo, Ontario; 1983.

M5. Wilkinson, P. "Determination of environmental levels of uranium and thorium series isotopes and cesium-137 in aquatic and terrestrial samples". Ministère des Pêches et Océans; publication spéciale, dans les journaux, octobre 1984.

M6. Grasty, R.L. et Dyck, W. "Radioactive equilibrium studies on four Canadian uranium reference ores". Current Research, Part A, Paper 84-1A:53-56. Commission géologique du Canada, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1984.

M7. Dyck, W. et Bristow Q. "Direct determination of polonium-210 in geological samples". Current Research, Part B, Paper 84-1B:41-46. Commission géologique du Canada, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1984.

M8. Storm, E. et Israel, H.I. "Photon cross-sections from 1 keV to 100 MeV for elements Z = 1 to 100". Nuclear Data Tables, Volume F., n° 6; 1970.

M9. Cutshall, N.H.; Larsen, I.L. et Olsen, C.R. "Direct analysis of ^{210}Pb in sediment samples: self-absorption corrections". Nucl. Instr. Meth. 206:309-312; 1983.

M10. Bland, C.J. "Radiometric determinations of ^{210}Pb activity in powder samples using the method of standard additions". Submitted to Int. J. Appl. Rad. Isot.; 1984.

M11. Smith, C.W. et Yang, Junhao. "Gamma-ray methodology for the determination of lead-210 in mineralogical matrices". Rapport de division MRP/MSL 84-147(IR); CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1984.

MATÉRIAUX DE RÉFÉRENCES CERTIFIÉS POUR ÉTALONNAGE, FOURNIS PAR LE PCMRC

Matériau-source

Produit de la Amersham International Corporation, numéro de code RBZ.44, numéro de solution 50/8/54, en ampoule scellée. Produit certifié à 1200 TMG, le 1er mai 1980 (certificat P18537), à 180 kBq ^{210}Pb. L'incertitude globale est évaluée à ± 2,4 %, avec une composante aléatoire 3σ de 0,6 %, et une incertitude systématique de 1,8 %. Le rapport d'activité ^{210}Bi/^{210}Pb a été évalué à 1,0006. Le rapport d'activité ^{210}Po/^{210}Pb a été évalué à 0,9559 à la date de la certification, et il a atteint un maximum théorique de 1,0179. Rien ne garantit que tout le ^{210}Po demeure en solution. La solution de 5,3303 g renfermait de l'acide nitrique 2 M et 100 µg/mL de chacun des éléments Pb et Bi.

Description de la dilution

Une solution pour dilution (diluant), contenant de l'acide nitrique 0,18 M, 100 µg de plomb par mL et 99 µg de bismuth par mL, a été préparée à partir d'une solution étalon de plomb dans l'acide nitrique 1 % pour absorption atomique; de bismuth métallique de haute pureté (6-9 s) dissous dans l'acide nitrique; et d'acide nitrique de qualité réactif. Le matériau de référence a été transféré quantitativement dans une fiole jaugée de 100 mL, le premier contenant étant lavé douze fois avec le diluant. Après avoir été complété à la marque avec le diluant, le mélange fut brassé énergiquement. Après trois jours, 14,98 ± 0,02 mL de cette solution-mère furent transférés dans une fiole jaugée de 1 L; puis, la solution fut diluée jusqu'à la marque à l'aide du diluant, et brassée énergiquement. Des fractions de 49,85 ± 0,03 mL de cette solution furent transférées dans des bouteilles de Nalgène de 125 mL, lesquelles furent bouchées et scellées pour l'expédition (83-11-20).

Calcul de l'activité

L'activité calculée du ^{210}Pb, le 83-12-01 était de 25,3 Bq mL^{-1} (684 pCi mL^{-1}), d'après l'activité certifiée, une période de désintégration de 3,584 ans, une demi-vie de 22,3 ans, et la dilution. L'incertitude totale pour l'activité a été estimée à ± 2,8 % (3σ = 0,6 %, erreur systématique pour l'activité = 1,8 %, et erreur maximale estimative pour la dilution = 0,4 %).

Milieu

La solution est 0,18 M en acide nitrique, et elle renferme 100 µg/mL de Pb et 99 µg/mL de Bi.

APPENDICE B

TAUX D'ÉMANATION DE RADON PAR DES MINERAIS DE RÉFÉRENCE EN POUDRE DU PCMRC

Tableau B1 - Taux d'émanation de ^{222}Rn par des minerais de référence en poudre du PCMRC

	Poudre sèche dans l'air[1]	Poudre sèche dans l'air[2]	Poudre en suspension dans l'eau[2]
DL-1a	6,1 ± 2,5	3 ± 2	15,8 ± 0,5
BL-4a	7,1 ± 0,9	5 ± 3	18,8 ± 0,3
DH-1a	5,0 ± 0,9	6 ± 3	33,9 ± 0,4
BL-5	2,9 ± 0,6	2 ± 2	6,5 ± 0,2

1 Taux d'émanation de ^{222}Rn mesurés; comparer aux taux de production d'après des valeurs publiées pour l'activité du ^{226}Ra.

McCorkell, R.H. "Radon emanation rate studies : inter-laboratory standard reference materials and the effects of powdering and pelletizing". Rapport de division MRP/MSL 83-34(J).
CANMET, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1984. (Présenté pour publication dans le CIM Bulletin).

2 Taux pour la poudre sèche d'après des mesures de l'activité relative pour le rayonnement gamma du ^{214}Bi, 1 jour et plus de 35 jours après que l'échantillon de poudre eut été scellé. Taux dans l'eau d'après des comparaisons des taux d'émanation de radon par des minerais en suspension, avec l'activité totale mesurée de radon.

Grasty, R.L. and Dyck, W. "Radioactive equilibrium studies on four Canadian uranium reference ores". Current Research, Part A, Paper 84-1A: 53-56. Commission géologique du Canada, Énergie, Mines et Ressources Canada; 1984.

VALEURS D'ACTIVITÉ OBTENUES PAR UN LABORATOIRE UNIQUE POUR DES ISOTOPES DES SÉRIES DE DÉSINTÉGRATION DE ^{238}U ET ^{232}Th NON CERTIFIÉS

Tableau R2 - Valeurs d'activité obtenues par un laboratoire unique pour des isotopes[1] des séries de désintégration de ^{238}U et ^{232}Th non certifiés

Matériau	Masse (g)	Activité ±95 % CI, Bq/g [2,3]				
		^{238}U	^{234}U	^{230}Th	^{232}Th	^{212}Pb (= ^{228}Th)
DL-1a	3	1,43 ± 0,08	1,40 ± 0,08	1,45 ± 0,13	0,333 ± 0,030	0,337 ± 0,008
		(,035, ,08, 4)	(,023, ,08, 4)	(,13, ,13, 4)	(,012, ,030, 4)	(,005, ,007, 4)
	0,5	1,43 ± ,08	1,41 ± 0,08	1,43 ± 0,12	0,344 ± 0,030	0,359 ± 0,026
		(,035, ,08, 4)	(,023, ,08, 4)	(,094, ,12, 4)	(,024, ,030, 4)	(,016, ,026, 4)
BL-4a	0,5	15,7 ± 0,3	15,2 ± 0,3	15,5 ± 0,7	0,083 ± 0,011	-
		(,46, ,83, 8)	(,28, ,83, 8)	(,65, ,96, 8)	(,012, ,006, 5)	
DH-1a	0,5	30,7 ± 1,3	29,5 ± 1,2	32,2 ± 2,1	4,02 ± 0,28	3,89 ± 0,22
		(,96, 1,70, 7)	(,84, 1,65, 7)	(1,37, 2,78, 7)	(0,26, 0,37, 7)	(0,12, 0,22, 4)

[1] Ces résultats proviennent du laboratoire 5 (voir appendice A). L'uranium, le thorium et le plomb sont séparés par échange anionique et extraction au solvant. ^{232}U et ^{228}Th sont utilisés comme traceurs pour le rendement. Les mesures par spectrométrie du rayonnement alpha avec des fractions évaporées permettent d'analyser ^{238}U, ^{234}Th et ^{230}Th. La spectrométrie du rayonnement gamma d'échantillons non dopés permet d'analyser le ^{228}Th d'après le photopic de ^{239}keV dû au ^{212}Pb.

[2] Les activités sont la moyenne de n mesures. Les incertitudes sont $2\sigma/\sqrt{n}$, où 2σ est la précision estimative d'une mesure unique par le laboratoire 5. Les valeurs présentées, σ, dépassent généralement les écarts-types des valeurs individuelles de la moyenne, s. Les valeurs de s, σ et n figurent respectivement entre parenthèses, en-dessous des activités moyennes.

[3] Les activités de ^{238}U et ^{232}Th, calculées à partir des concentrations certifiées d'uranium et de thorium et des activités spécifiques de 123,46 et 40,4 Bq g^{-1}/%, s'établissent respectivement comme suit : 1,432 ± 0,037 et 0,307 ± 0,016 (DL-1a); 15,41 ± 0,09 et inconnu (BL-4a); et 32,46 ± 0,04 et 3,68 ± 0,13 (DH-1a).